大豆營養要素之累積與分佈

Ⅲ全生育期非構造性碳水化合物及營養要素之累積[1]

王強生 劉大江[2]

摘要：以高雄3號 (Kaohsiung No. 3) 與十石 (Shih-Shih) 二大豆品種為材料，於重要生育期測定植株各部位所累積之非構造性碳水化合物 (TNC) 及氮、磷、鉀與鎂素含量，並於春、夏作間進行比較，以探討營養要素與產量間之關係。在 R4-R5 生育期以前，葉片為營養要素累積量最高的器官，且春作大豆全株與各營養器官內的要素含量多較夏作為高，其後之營養要素累積以莢果壁與種子為主，且以夏作的含量較多。全生育期大豆植株累積各要素之最高量為每公頃氮素 124—270kg、磷素 27—42kg、鉀素 70—130kg 與鎂素 15—30kg，其中僅磷素與所施用之肥料量相平衡。種子迅速充實期全株各元素之累積速率 (kg/ha/day) 為氮素 3—8、磷素0.3—1.2、鉀素 1.4—3.8 與鎂素0.3—0.8，而種子之累積速率則依次為 4.4—12.9、0.7—1.7、1.8—2.6與0.3—0.5，顯示除鉀與鎂外，其他營養要素明顯自葉片、葉柄、莖稈及莢果壁等器官再轉移至種子。種子充實期間莢果壁 TNC/N 比值上升，夏作遠高於春作，種子 TNC/N 比值則有逐漸下降的趨勢，且以春作略低，顯示夏作大豆 TNC 生產力較高，春作則有不足的可能，應為影響產量的重要原因。

大豆植株各部位在某一生育期所含營養要素之量可由該部位乾物重和營養要素濃度的乘積求得；Hanway and Weber (8) 與 Pal and Saxena (14) 研究大豆 N 素營養，發現莖稈、葉片和葉柄等營養器官及全株的 N 素含量自生育初期開始，即以 Sigmoid 曲線方式累積，Israel (11) 則報告大豆全株及豆莢內 N 素均呈直線累積；若就全生育期各部位 N 素的累積速率而言，以種子充實期最高，可達 8.2 kg/ha/day (14)。

Harper (9) 指出大豆植株自生育初期即開始累積 P 素，Hanway and Weber (18) 發現全株 P 素累積以種子最多，每公頃約 14.5—20.5kg，葉片及葉柄次之，莖稈最少，全株總累積量為 18.8—27.2kg/ha。大豆植株全生育期可累積 78—103kg/ha K 素，而 Mg 素亦自生育初期便逐漸累積 (9)。

本研究室之試驗結果發現臺中地區春、夏二作大豆生長於氣象 (溫度、日射量) 差異極大的環境下，乾物質生產力及分配效率呈現極大的期作間差異，是造成夏作大豆產量遠高於春作的主要原因 (2)。Gent (7) 指出植株各部位營養要素分配的平衡與否對產量有重大的影響，局部營養要素供應不足或不平衡，均可能導致減產。著者等 (3,4) 調查全生育期大豆植株各部位營養要素濃度 (TNC, N, P, K 與 Mg) 之變化趨勢，發現夏作大豆植株營養要素濃度並不高於春作，因而建議營養要素濃度的高低並無法說明春、夏作大豆產量之鉅大差異，亦即植株營養狀況良好未必有較高的種子產量。本文係進一步利用各營養要素濃度及乾物重資料，計算大豆全生育期各部位 TNC、N、P、K 與 Mg 等

1.臺灣省農業試驗所 研究報告第 1321 號。
2.本所農藝系助理研究員與研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

重要營養要素累積量之變化情形，藉以探討大豆全生育期各營養要素之累積模式、期作間之差異及其與產量之關係。

材料與方法

試驗採用高雄3號（Kaohsiung No. 3, KS-3），及十石（Shih-Shih, SS）大豆品種爲材料，夏作於民國70年8月3日，春作於71年2月8日播種於臺中縣霧峰鄉臺灣省農業試驗所試驗田。播種時每穴播3－4粒種子，而後於 V2-V3期[6] 間拔，每穴留2株，行株距春作爲50×10cm（400,000株／公頃），夏作爲45×10cm（440,000株／公頃）。肥料用量N：P_2O_5：K_2O＝24：50：70kg/ha，以基肥方式一次施於田間。每一期作均進行中耕除草及培土一次，定期噴施農藥以防治雜草及病蟲害，並視需要適時灌溉，所有田間管理均按一般慣行栽培法進行。

大豆植株出土後自 V3 期起，每隔10天左右取樣一次，將植株區分爲葉片、葉柄、莖稈、根、莢果壁及種子等部位，烘乾並秤取乾重後磨粉，所得之乾燥樣品供爲各項營養要素分析之用[2]。

非構造性碳水化合物（total nonstructural carbohydrates, TNC）仿 Smith[17] 法分析，係秤取適量樣品，以 0.5% takadiastase（"Clarase 40,000", Miles-Kyowa Co., LTD, Japan）於 40°C 水解44小時，再以Shaeffer-Somogyi copperiodometric titration method定量。N素係以 semi-micro kjeldahl 方法測定。樣品經以Issac and Jones, Jr[12] 與 Liu[13] 之方法灰化後，P素以鉬藍法（colorimetric (Mo) blue method）[4] 分析，K素以焰光比色計（Corning Model 400 flame photometer）測定，Mg 係以原子吸光儀（Varian techtron Model AA-55 atomic absorption spectrophotometer）測定[3,4]。上述各項分析均以每一重複爲一樣品，每一樣品均同時分析兩次。有關濃度之試驗結果業經報告[3,4]，本文係討論營養要素含量與大豆生長間之關係。

結　　果

大豆全生育期植株各部位TNC含量之變化列於表1，葉片及葉柄 TNC 含量大致從 V5 期後迅速增加，於 R4 或 R5 期達最大累積量，而後春作含量急速下降，夏作雖亦減少，但趨勢較爲緩慢。春作高雄3號於 R4 至 R5 期，十石品種於 R5 至 R6 期之下降幅度最爲明顯。夏作 TNC 含量下降時期較晚，高雄3號爲 R5 至 R6 期，而十石爲 R6至 R7期。就最大累積量而言，高雄3號夏作 R5 期每株累積之TNC 約 652mg，而春作於 R4 期達 960mg；十石品種春、夏二作分別爲 902mg 及 579mg，春作含量均較夏作高出甚多。

莖稈TNC含量亦呈明顯之期作性差異，夏作二品種均自生育初期逐漸累積，R1 期達第一次高峰，而後略有減少，種子形成（R5期）後累積量增加而達最大值，然後隨種子迅速充實而漸減。春作高雄3號與十石莖稈 TNC含量分別於 R4 及 R5 期達最高值，而後亦隨種子充實而遞減。品種間比較，以高雄3號之含量爲高，期作間比較，則以春作的累積量爲多。

根部TNC含量爲全株各部位中最低者，無論品種或期作，其累積模式頗爲一致，皆自 V3 期逐漸增加，至 R4 或 R5 期達最大值；春作高雄3號每株約含 82mg之TNC，十石約爲 78mg，而夏作之累積量較春作少，二品種依次爲 63mg及 23mg。種子充實期間根部 TNC含量亦大幅下降，至 R8 期每株僅餘 4—10mg。

自豆莢形成後莢果壁便逐漸累積TNC，而於種子直線充實期間（R5—R6 期）達最高值，夏作高雄3號每株約 522mg，十石較高，爲 632mg，二品種春作TNC累積量依次爲 418mg及 205mg，遠較夏作爲低，與營養器官之表現截然不同。莢果壁 TNC 含量亦隨種子充實與成熟而明顯減少。春作二品種莢果壁於 R8 期之TNC含量均低於170mg，並較夏作爲低。

種子 TNC 含量變化模式呈明顯期作性差異，夏作二品種皆自種子形成後迅速累積，高雄3號於 R7期達最大累積量，每株約 901mg，但成熟期略有減少，而十石品種於成熟（R8）期達最大值，約

727mg。春作成熟期高雄3號與十石二品種種子依次累積536mg及397mg之 TNC，均遠較夏作少。

大豆全株TNC總累積量自V3期逐漸增加，約於R3至R5期間有最高之累積速率。就最大累積量而言，夏作出現時期較春作晚，夏作高雄3號於R5期每公頃約累積 738kg之TNC，十石於R6期約累積767kg；春作高雄3號於 R4期每公頃約累積 612kg，十石品種於R5期累積 620kg。成熟期夏作全株TNC累積總量幾達春作2倍，期作間差異顯著。

Table 1. Amount of TNC (mg/plant) accumulated in different parts of soybean plants at successive stages of development in the summer (1981) and spring (1982) crop seasons

Variety	Crop Season	Developmental Stage								
		V3	V5	R1	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Leaf+petiole										
Kaohsiung No. 3	Summer	47	28	323	440	571	652	396	134	—
	Spring	25	43	268	243	960	396	262	—	—
Shih-Shih	Summer	60	25	112	—	208	579	517	112	—
	Spring	8	55	344	—	433	902	192	—	—
Stem										
Kaohsiung No. 3	Summer	11	19	119	88	91	147	89	74	43
	Spring	6	23	82	113	365	264	98	58	47
Shih-Shih	Summer	12	23	36	—	27	83	79	37	26
	Spring	4	24	79	—	131	269	104	24	18
Root										
Kaohsiung No. 3	Summer	5	—	32	41	63	34	13	14	11
	Spring	4	12	25	35	82	38	18	13	10
Shih-Shih	Summer	5	—	17	—	10	23	18	7	6
	Spring	3	9	16	—	37	78	20	7	4
Pod wall										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	222	522	313	355	424
	Spring	—	—	—	—	122	418	243	190	168
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	63	434	632	215	265
	Spring	—	—	—	—	50	177	205	113	107
Seed										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	—	322	857	901	823
	Spring	—	—	—	—	—	—	486	448	536
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	—	—	498	665	727
	Spring	—	—	—	—	—	124	462	385	397
Total										
Kaohsiung No. 3	Summer	63	47	474	569	947	1,677	1,668	1,478	1,301
	Spring	35	78	375	391	1,529	1,116	1,107	709	761
Shih-Shih	Summer	77	48	165	—	308	1,119	1,744	1,036	1,024
	Spring	15	88	439	—	651	1,550	983	529	526

全生育期大豆植株各部位N素含量之變化亦示於表 2 。葉片與葉柄自生育初期便逐漸累積 N 素，高雄 3 號於 R4期，十石於 R5期達全生育期最大累積值，而後隨種子之發育而逐漸減少。二品種在期作間之表現不同，除成熟期外，高雄 3 號以春作累積之 N素較多，而十石反以夏作較高。就 N素最大累積量而言，春作高雄 3 號之最高 N 素含量約為每株 202mg ，十石僅有 97mg ， 夏作二品種依次為 178mg及116mg。

Table 2. Amount of N (mg/plant) accumulated in different parts of soybean plants at successive stages of development in the summer (1981) and spring (1982) crop seasons

Variety	Crop Season	Developmental Stage V3	V5	R1	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Leaf+petiole										
Kaohsiung No. 3	Summer	15	44	61	99	178	150	96	62	—
	Spring	11	29	61	143	202	191	168	—	—
Shih-Shih	Summer	14	34	43	—	94	116	95	27	—
	Spring	8	23	48	—	89	97	81	—	—
Stem										
Kaohsiung No. 3	Summer	4	11	17	17	33	30	23	14	11
	Spring	3	7	10	21	31	47	27	14	11
Shih-Shih	Summer	3	12	10	—	16	18	12	7	7
	Spring	2	5	7	—	14	17	13	5	5
Root										
Kaohsiung No. 3	Summer	2	—	7	10	12	13	9	7	5
	Spring	2	6	9	13	21	21	10	6	4
Shih-Shih	Summer	1	—	5	—	4	8	8	5	4
	Spring	2	5	6	—	12	17	15	4	3
Pod wall										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	84	94	46	44	30
	Spring	—	—	—	—	50	151	60	30	24
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	15	114	76	19	17
	Spring	—	—	—	—	21	57	31	13	11
Seed										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	—	136	429	438	434
	Spring	—	—	—	—	—	—	252	285	314
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	—	—	174	352	343
	Spring	—	—	—	—	—	50	171	211	214
Total										
Kaohsiung No. 3	Summer	21	55	85	116	307	423	613	565	480
	Spring	16	42	80	177	304	409	517	335	353
Shih-Shih	Summer	18	46	58	—	129	256	365	383	371
	Spring	12	33	61	—	136	238	311	233	233

無論期作或品種，莖稈N素累積模式頗為一致，以 R4或 R5期之含量最高，而後逐漸減少。成熟期莖稈N素含量很低，高雄 3 號每株約11mg，十石品種更少，約為5—7mg。

根部為全株所有器官中 N素含量最低之部位，且全生育期之含量變化與莖稈相同，皆自生育初期逐漸累積，至R5期達最大值。比較期作之差異發現除R7期與R8期外均以春作較高。由 R5期及 R8期根部N素累積量之差異知，春作大豆根部N素自R5期後有損失或向外轉移的現象。

莢果壁自發育初期（R4）即迅速累積N素，於種子開始充實期（R5）累積量最多，且較植株其他任一營養器官為高。隨種子充實，莢果壁N素亦大幅減少， 成熟期之含量春作高雄 3 號每株為 24mg，十石品種為11mg，夏作較春作略高，二品種依序為30mg 及 17mg。高雄 3 號春作每株最高累積量達151mg，夏作僅有94mg；十石品種夏作為114mg，春作僅夏作之半（57mg），二參試品種於期作間之表現不同。

種子N素含量隨充實而迅速增加，成為全株最大N素累積部位，成熟時佔全株總量於 90%以上。二品種夏作種子 N素累積量皆較春作為高，成熟時高雄 3 號夏作每株種子N素含量達 434mg，春作僅為314mg，僅及夏作之72%；十石品種夏作為343mg，春作約214mg，為前者之62%，期作間差異大，與植株其他營養器官之表現相反。

參試二品種全生期植株N素總累積量之變化模式頗為一致，皆自生育初期逐漸增加，R4 至 R6 期間之累積最迅速。春作高雄 3 號每株最高約累積517mg（合207kg/ha），夏作為 613mg（約270kg/ha）；十石春、夏二作依次為311mg（124kg/ha）及383mg（169kg/ha），均以夏作較高。

無論春作或夏作，莢果壁TNC/N比率皆自豆莢形成（R4期）後逐漸升高，成熟時之比率最高，兩品種夏作介於14.1—15.6之間，春作僅為7.0—9.7，顯示明顯的期作性差異（表 3）。種子的表現與莢果壁不同，TNC/N 比率有隨種子充實而逐漸降低的趨勢，春作的比率（高雄 3 號為1.5—1.9，十石為1.8—2.7）雖亦較夏作（高雄 3 號與十石分別為1.9—2.4與1.9—2.9）為低，但差異不若莢果壁之表現明顯（表 3）。

Table 3. Changes of TNC/N ratio in pod wall and seed of soybean plants during reproductive growth period in the summer (1981) and spring (1982) crop seasons

Variety	Crop Season	Reproductive Stage				
		R4	R5	R6	R7	R8
		Pod wall				
Kaohsiung	Summer	2.64	5.55	6.80	8.07	14.13
No. 3	Spring	2.44	2.77	4.05	6.33	7.00
Shih-Shih	Summer	4.20	3.81	8.32	11.32	15.59
	Spring	2.38	3.11	6.61	8.69	9.73
		Seed				
Kaohsiung	Summer	—	2.37	2.00	2.06	1.90
No. 3	Spring	—	—	1.93	1.57	1.71
Shih-Shih	Summer	—	—	2.86	1.89	2.12
	Spring	—	2.48	2.70	1.82	1.86

除R8期外，春作葉片及葉柄之P累積量均較夏作多（表 4），但至生育末期之減少幅度亦遠較夏作明顯。高雄 3 號春作每株P含量高達34.6mg，夏作僅20.9mg；十石品種二期作依次為 17.0mg 與

8.7mg，皆以春作較高。

莖稈生育期間P素累積模式與葉片及葉柄相似，於 R4—R5 期達最大值，隨後迅速減少。比較春、夏作之表現，除V3期之差異不大外，其他各生育期皆以春作之P累積量較多，以 R5 期爲例，春作高雄3號累積量約12.8mg，夏作僅有5.6mg；十石品種春、夏二作分別爲 5.5mg及2.6mg，期作差異極大。

Table 4. Amount of P (mg/plant) accumulated in different parts of soybean plants at successive stages of development in the summer (1981) and spring (1982) crop seasons

Variety	Crop Season	Developmental Stage V3	V5	R1	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Leaf+petiole										
Kaohsiung No. 3	Summer	1.1	2.8	4.5	20.9	15.2	12.1	8.9	5.9	—
	Spring	1.4	4.5	11.6	27.3	34.6	31.0	29.7	—	—
Shih-Shih	Summer	1.0	2.3	3.0	—	2.7	8.2	8.7	1.2	—
	Spring	1.1	4.0	10.2	—	17.0	15.0	15.5	—	—
Stem										
Kaohsiung No. 3	Summer	0.5	1.1	2.4	2.3	5.9	5.6	3.2	2.0	1.7
	Spring	0.4	2.1	3.6	6.5	12.7	12.8	10.4	6.0	5.4
Shih-Shih	Summer	0.4	1.6	1.2	—	1.4	2.6	2.5	0.5	0.8
	Spring	0.3	1.8	2.5	—	4.4	5.5	4.3	1.5	1.9
Root										
Kaohsiung No. 3	Summer	0.2	—	0.8	1.2	4.4	1.0	1.1	0.8	0.5
	Spring	0.3	1.4	2.2	2.8	5.9	4.3	2.4	1.2	0.7
Shih-Shih	Summer	0.2	—	0.6	—	0.4	1.1	1.1	0.3	0.3
	Spring	0.3	1.2	1.8	—	2.6	3.9	3.2	0.8	0.5
Pod wall										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	20.0	12.9	6.8	4.7	2.7
	Spring	—	—	—	—	15.3	35.7	19.6	10.3	8.3
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	3.7	23.7	21.4	1.2	1.8
	Spring	—	—	—	—	5.6	15.8	10.9	2.5	2.3
Seed										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	—	24.4	40.1	48.6	45.5
	Spring	—	—	—	—	—	—	42.1	60.6	65.8
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	—	—	31.8	17.3	36.3
	Spring	—	—	—	—	—	11.1	34.9	43.9	46.0
Total										
Kaohsiung No. 3	Summer	1.8	3.9	7.7	24.4	45.5	56.1	60.1	62.0	51.4
	Spring	2.1	8.0	17.4	45.1	60.5	83.8	104.2	78.1	80.1
Shih-Shih	Summer	1.6	3.9	4.8	—	8.5	35.6	65.4	20.5	39.2
	Spring	1.7	7.0	14.5	—	29.6	51.3	68.8	48.7	50.7

大豆根部P素累積模式與地上部其它營養器官相似，高雄3號於R4期，十石品種於R5期之含量最高。全生育期中春作P素累積量均遠較夏作爲高，春作高雄3號及十石之最大累積量依次爲 5.9mg及3.9mg，而夏作二品種分別爲4.4mg及1.1mg。種子充實期間根部P含量亦迅速減少。

莢果壁 P含量高於全株任一營養器官，且於種子充實前之含量最高。高雄3號春作之累積量較夏作多，依次爲35.7mg及20.0mg；十石品種則反是，夏作爲 23.7mg，春作僅 15.8mg。種子充實期間莢果壁P素亦向其他器官轉移而大量減少。

種子爲全株P素最大累積部位，R8 期種子成熟時，高雄3號春、夏作每株分別累積 65.8mg 及45.5mg，十石爲 46.0mg及 36.3mg，皆以春作較高。但就所佔全株總累積量而言，反以夏作比率較高，高雄3號夏作爲89%，春作僅82%；十石品種差異較小，依次爲93%及90%。

全株 P含量之變化和營養器官一致，自生育初期逐漸累積，種子充實期間，因器官脫落、老化而減少。春作 P素累積量於生育期間均較夏作高出甚多，以最大累積量而言，高雄 3 號春作每株爲104.2mg (42kg/ha) ，夏作僅 62mg (27kg/ha) ，爲前者之 60%；十石品種之差異較小，分別爲68.8mg (28kg/ha) 及 65.4mg (29kg/ha) 。

葉片及葉柄之K素含量於R5期前後達最大值（表4），而後因老化脫落而大量減少。二品種之最高累積量皆以春作較多，高雄3號及十石每株分別爲 121mg 及 52mg，夏作較少，二品種依次僅有79mg及45mg。

夏作高雄3號及十石品種莖稈K含量於R1期及V5期即達最高值，分別爲33mg 及 31mg，而後略呈下降趨勢。春作二品種K素累積較緩慢，高雄3號及十石分別於R5期及R4期達高峰，依次爲 52mg及16mg。比較期作間差異，得知R1期以前夏作莖稈累積K素較多，而 R1期後反以春作之累積量較多。

根部約於種子充實期 (R5) 前後有最大K累積量，夏作高雄3號及十石分別爲 21mg及 6mg；春作二品種依次爲16mg及9mg。根部爲營養器官中K素含量最少之部位。

莢果壁自形成後便迅速累積K素，高雄3號於 R5期，十石品種於 R6期之含量最高，高雄3號夏作、春作分別累積 96mg及 117mg，以春作較多；十石品種則反是，春、夏作分別爲 44mg及 110mg。隨著種子成熟，莢果壁 K素含量逐漸減少。

種子 K素含量隨種子充實而逐漸增加，最後成爲全株最大累積部位，約佔全株總量50%以上。夏作種子累積K素較多，就R8期而言，高雄3號夏作爲116mg，春作爲 96mg；十石品種二期作依次爲110mg及67mg，差異更大。估計每公頃累積量，高雄3號夏作達51kg，春作僅38kg；十石春作、夏作依序爲27kg及48kg。

大豆全株K素累積量之變化模式與地上部營養器官一致，於 R5或R6 期含量最多，高雄3號夏作於R6期累積K素250mg，相當於110kg/ha，春作於 R5期爲295mg，相當於 118kg/ha；十石品種 R6期春作、夏作每株依次累積K素160mg及217mg，約合64kg/ha 及 95kg/ha，二品種對期作之反應不一致。

表6爲植株各部位Mg素累積量之變化情形。葉片及葉柄所含Mg素於 R4或R5期達最大值，而後因葉片老化脫落而減少。營養生長期 (R1期以前) 以夏作之累積較多，生殖生長期後，除十石於 R5期以夏作較高外，均以春作累積之Mg素較多。

莖稈Mg素含量亦自V3期後逐漸增加，於種子成熟前略呈下降趨勢。R1期前高雄3號以夏作 Mg素含量較多，R3期後反以春作累積量高，十石品種的表現亦相近似。高雄3號春作全生育期最大累積量每株爲11.4mg，夏作僅6.6mg，十石品種春、夏作依次爲5.2mg及3.4mg。

莢果壁爲全株 Mg 素含量最高之部位，二品種皆以夏作之累積量較多，高雄3號春作每株最高含量約21.0mg，夏作爲29.8mg；十石品種春、夏作依次爲16.1mg 及 26.4mg。種子Mg素含量亦以夏作較高，R8期高雄3號每株累積 21mg，十石品種較少，爲 17.1mg；春作二品種依序爲 9.0mg 及

Table 5. Amount of K (mg/plant) accumulated in different parts of soybean plants at successive stages of development in the summer (1981) and spring (1982) crop seasons

Variety	Crop Season	V3	V5	R1	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Leaf+petiole										
Kaohsiung No. 3	Summer	7	15	28	59	79	61	47	26	—
	Spring	5	12	15	85	117	110	121	—	—
Shih-Shih	Summer	7	12	15	—	18	47	45	14	—
	Spring	3	10	27	—	52	51	37	—	—
Stem										
Kaohsiung No. 3	Summer	7	19	33	27	28	27	22	18	20
	Spring	3	10	14	29	33	52	36	36	32
Shih-Shih	Summer	5	31	17	—	7	12	16	12	9
	Spring	2	9	9	—	16	13	15	16	12
Root										
Kaohsiung No. 3	Summer	3	—	8	10	21	10	6	5	4
	Spring	2	7	8	10	14	16	7	2	1
Shih-Shih	Summer	2	—	6	—	3	5	6	4	1
	Spring	2	5	5	—	7	9	6	3	1
Pod wall										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	47	96	91	77	82
	Spring	—	—	—	—	35	117	61	64	55
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	9	50	110	50	40
	Spring	—	—	—	—	12	41	44	43	31
Seed										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	—	32	84	122	116
	Spring	—	—	—	—	—	—	64	88	96
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	—	—	40	104	110
	Spring	—	—	—	—	—	14	58	94	67
Total										
Kaohsiung No. 3	Summer	17	34	69	96	175	226	250	248	222
	Spring	10	29	37	124	199	295	289	190	184
Shih-Shih	Summer	14	43	38	—	37	114	217	184	160
	Spring	7	24	41	—	87	128	160	156	111

8.1mg，期作間差異頗大。

全株 Mg 素累積量之變化，二品種於不同期作之表現一致，生育初期 (V3—V5) 及生育末期 (R7—R8) 以春作累積量較少，其他生育期以夏作之累積量較低。高雄3號春作每株最高 Mg 含量約 70.9mg (28kg/ha)，夏作爲 67.8mg (30kg/ha)；十石品種二期作分別爲 36.9mg (15kg/ha) 及48.5mg (21kg/ha)。

Table 6. Amount of Mg (mg/plant) accumulated in different parts of soybean plants at successive stages of development in the summer (1981) and spring (1982) crop seasons

Variety	Crop Season	Developmental Stage								
		V3	V5	R1	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Leaf+petiole										
Kaohsiung No. 3	Summer	1.6	4.3	7.2	13.8	18.4	15.2	14.2	12.1	—
	Spring	1.0	2.4	8.5	15.8	22.0	28.1	27.7	—	—
Shih-Shih	Summer	1.7	3.8	5.2	—	6.1	18.9	10.7	5.4	—
	Spring	0.8	2.5	7.5	—	12.0	11.9	10.7	—	—
Stem										
Kaohsiung No. 3	Summer	1.0	2.8	5.6	5.3	6.6	6.1	5.1	4.3	3.4
	Spring	0.7	2.2	4.2	7.2	10.2	11.4	9.8	3.4	6.5
Shih-Shih	Summer	0.9	3.4	2.7	—	1.6	2.9	2.8	2.0	1.7
	Spring	0.5	2.1	3.1	—	4.3	5.2	3.3	4.0	2.2
Root										
Kaohsiung No. 3	Summer	0.4	—	1.7	2.3	6.7	2.9	2.2	1.9	1.5
	Spring	0.6	1.3	1.9	2.8	5.2	4.5	3.9	1.3	0.3
Shih-Shih	Summer	0.3	—	1.4	—	0.8	1.6	1.5	1.0	0.8
	Spring	0.5	0.7	1.1	—	1.8	2.9	2.3	0.6	0.3
Pod wall										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	10.1	25.5	24.4	27.7	29.8
	Spring	—	—	—	—	7.3	18.3	19.5	21.0	17.8
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	2.4	9.5	26.4	16.0	15.5
	Spring	—	—	—	—	2.6	9.5	12.5	16.1	10.2
Seed										
Kaohsiung No. 3	Summer	—	—	—	—	—	5.4	17.0	21.8	21.0
	Spring	—	—	—	—	—	—	10.0	9.0	9.0
Shih-Shih	Summer	—	—	—	—	—	—	7.1	18.3	17.1
	Spring	—	—	—	—	—	1.5	7.8	13.6	8.1
Total										
Kaohsiung No. 3	Summer	3.0	7.1	14.5	20.4	41.8	55.1	62.9	67.8	55.7
	Spring	2.3	5.9	14.6	25.8	44.7	62.3	70.9	34.7	33.6
Shih-Shih	Summer	2.9	7.2	9.3	—	10.9	32.9	48.5	42.7	35.1
	Spring	1.8	5.3	11.7	—	20.7	31.0	36.6	34.3	20.8

討　　論

大豆植株各營養器官皆自生育初期即逐漸累積 TNC，而於種子充實期間含量大幅減少（表 1）；Streeter and Jeffers [18] 認爲大豆營養器官具有暫時貯藏碳水化合物的能力，在植株供源 (source) 與積儲 (sink) 部位間扮演緩衝 (buffering) 的角色，有利於供源、積儲正常功能之維持。葉

片與葉柄貯藏之TNC量遠較莖稈爲多，春作高雄3號於R4期，十石品種於 R5期之累積量每株分别爲960mg及902mg，而後迅速減少（表1），除部分因葉片脫落之影響外[2]，由葉片及葉柄 TNC濃度迅速下降結果[3]，得知 TNC再分布至發育中的種子及呼吸作用的消耗，應爲含量減少的主要原因。春作各營養器官TNC最大累積量均較夏作高，全株TNC總量於R4期種子尚未形成前亦以春作較多，以高雄3號爲例，春作每株累積1,529mg（612kg/ha），夏作僅爲 947mg（417kg/ha），差異極大，然而至R5期以後，夏作反而 TNC 累積較多（表1）。此外，種子開始充實後，春作大豆營養器官內所貯藏TNC急速減少，推測春作大豆種子充實對貯藏性TNC 依賴程度較夏作爲高，可能因春作大豆生育後期受高溫、高濕及低日射量的影響[2]， 消耗增加，且葉片較早老化與脫落，導致現階段光合生產力不足，TNC 供給成爲限制因子。夏作大豆種子充實期日射量充足，植株維持較高的光合成能力，淨同化速率（NAR）較高[1]，TNC 生產不受限制[3]， 且夏作大豆植株光合產物分配效率較高，導致生殖器官（莢果壁及種子）之 TNC累積量遠比春作多，與植株乾物質分配有相同結果[2]。由表3中莢果壁及種子TNC/N比率顯示，春作大豆生殖器官所獲分配之TNC量明顯受到限制，導致比率較低，假設N素供給充足，TNC之供給達成爲春作大豆低產原因及限制因子。

夏作大豆高雄3號全株N素總累積量以R6期之 613mg最高，相當於 270kg/ha，春作十石品種亦以R6期最高，但僅及311mg，即124kg/ha，相差極爲懸殊。大豆生育期間對 N 素需求量大，累積速率亦快，Pal and Saxena[14] 指出開花期以前，N素積速率小於 1kg/ha/day，但種子迅速充實期間（約14天）可高達2—8kg/ha/day。由表2結果顯示，不論期作或品種，大豆全株 60%以上的N素係於R4期以後累積，此外，如不考慮葉片脫落的影響，成熟時90%以上的N素累積於種子，亦即種子充實期間大豆植株N素的供應與 N素營養對產量有決定性的影響。一般而言，栽培大豆每公頃所施用的N肥約20—30kg，僅佔大豆全株總累積量的十分之一，除部分 N素由原來存在土壤中者供應外，絕大多數N素依賴固氮作用供給。據 Huang *et al.*[10] 之研究，大豆根瘤的固氮活性於種子充實期已明顯下降，因此，此一階段植株所固定 N素是否足以供應大豆種子充實所需，仍有待更進一步探討。

全生育期大豆植株各部位P素累積量皆以春作較高，且差異頗大。然而，就全株 P 素分配效率而言，夏作大豆種子P素累積量雖然較少，但佔全株比率較高，顯示夏作大豆 P 素之利用仍較具效率。至於K素與 Mg 素之累積，春作營養器官（葉片及葉柄、莖稈與根等）於全生育期或營養生長至生殖生長初期皆有較大累積量，而生殖器官（莢果壁及種子）除於部分時期呈現品種差異外，皆以夏作較高，且佔全株分配比率亦較高，與上述其他要素表現相同（表5、6）。

表3—6估計大豆全生育期間對P、K、Mg三要素需要量，P素約 27—42kg/ha，K 素約70—130kg/ha，與Harper[9] 之結果相近，Mg素之需要量爲 15—30kg。目前栽培大豆每公頃大約施用 P肥50kg，K肥70kg，若與本試驗結果比較，所施用 P肥似已足供大豆之需，然而 K肥之供應是否充分，則受土壤肥力的影響，單就植株需要量而言，建議應針對土壤條件考慮酌量加施 K肥的必要性。又由植株對 Mg之大量累積情形，今後栽培大豆或其他作物時應瞭解作物對各必要元素吸收或需要量，適當施用，以預防或彌補土壤經長期栽培，產生缺乏元素現象而影響產量表現。

由表3—6估計大豆種子迅速充實期間全株各元素吸收累積速率，分别爲N素3—8kg/ha/day，P素0.3—1.2kg/ha/day，K素1.4—3.8kg/ha/day及Mg 素 0.3—0.8kg/ha/day，而同一期間種子之累積速率依次爲N素4.4—12.9kg/ha/day，P素0.7—1.7kg/ha/day，K 素 1.8—2.6kg//ha/day與Mg素0.3—0.5kg/ha/day，顯示大豆種子對各種營養要素之需求量頗大，於測定元素中除 Mg 素外，全株營養要素之累積尚無法滿足種子需要，導致各種營養要素自植株、葉片、葉柄、莖稈、根部及莢果壁等部位再轉移至種子，與Hanway and Weber[8], Sinclair and deWit[15,16] 及 Egli[5] 等之結果相同。Sinclair and deWit[15] 認爲營養要素自營養器官再轉移至種子是一種自身毀滅作用（self-destruction），促使大豆植株提早老化，而限制種子產量，由計算資料推測各要素中以 N 素供應不足最可能影響產量。表3結果顯示莢果壁 TNC/N 比率隨種子充實而增大，除證明大量N素再轉

移（表2）外，仍有大量 TNC 殘留於莢果壁而無法被利用，此一現象尤以夏作更爲明顯，可能莢果壁至種子轉移途徑（translocation pathway）受阻，或TNC與N素之轉移有並行關係存在，由於N素之供應不足，造成莢果壁內TNC的累積。種子成熟時TNC/N比率逐漸減小，以春作較爲明顯，除表示N素對種子發育的重要性外，TNC之供給應爲影響產量的另一重要因素。

綜合本試驗及前文[2,3,4]之結果，大豆營養器官內各營養素要濃度在所知之變異範圍內，與產量並無明確的關係，但種子充實期間累積量的多寡則對產量具有影響；此外，生殖器官所獲全株營養要素分配量較多者，產量亦較高，此一現象雖可能爲高產的結果，而非原因，但仍足以證明分配效率對產量的重要性。大豆種子充實期間，各營養要素於植株內迅速累積，而濃度却大幅下降，顯示維持供需平衡關係對產量具有重要影響。營養要素自葉片再分布至種子因可能導致葉片生理活性降低而提早老化，但春作大豆的轉移作用不完全，產量亦低[2]，顯示在實際生產上不宜由單一方向考慮營養要素利用問題，而春、夏的氣象條件不同[1]，也表示環境因子的作用頗爲複雜。又由莢果壁及種子內 TNC 與 N素含量之比率變化，建議今後亦有必要探討種子充實期間碳素與氮素代謝作用間的關係，應有助於充分瞭解大豆生理，進而謀求增產之道。

參 考 文 獻

1. 王强生・1983・大豆乾物質與營養要素之累積與分佈。國立中興大學糧食作物研究所碩士論文。
2. 王强生、曹文隆、劉大江・1984・大豆植株之乾物質累積與分佈。中華農業研究33（2）：117～125。
3. 王强生、魏夢麗、劉大江・1984・大豆植株營養要素之累積與分佈 I、全生育期非構造性碳水化合物與氮素濃度之變化。中華農業研究33（3）：247～256。
4. 王强生、魏夢麗、劉大江・1984・大豆植株營養要素之累積與分佈 II、全生育期磷、鉀、鎂之濃度變化。中華農業研究33（4）：377～386。
5. Egli, D. B., J. E. Leggett and A. Cheniae . 1980. Carbohydrate levels in soybean leaves during reproductive growth. Crop Sci. 20 : 468-472.
6. Fehr, W. R. and C. E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Special report 80, Cooperative Extension Service, Iowa State Univ.
7. Gent, M. P. N. 1982. Effect of defoliation and depodding on long distance translocation and yield in Y-shaped soybean plants. Crop Sci. 22 : 245-250.
8. Hanway, J. J. and C. R. Weber. 1971. Accumulation of N, P and K by soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plants. Agron. J. 63 : 406-408.
9. Harper, J. E. 1971. Seasonal nutrient uptake and accumulation patterns of soybeans. Crop Sci. 11 : 347-350.
10. Huang, D. D., M. C. Shen, C. S. Chen and D. J. Liu. 1980. Nitrogen distribution and N_2-fixing activity of developing soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plant. J. Agri. Res. China 29 : 93-102.
11. Israel, D. W. and W. A. Jackson. 1982. Ion balance, uptake and transport processes in N_2-fixing and nitrate- and urea-dependent soybean plants. Plant Physiol. 69 : 171-178.
12. Issac, R. A. and J. B. Jones, Jr. 1972. Effects of various dry ashing temperatures on the determination of 13 nutrient elements in five plant tissues. Comm. Soil Pl. Anal. 3 : 261-269.
13. Liu, D. J. 1975. Composition and distribution of minerals in barley (*Hordeum vulgare* L.). Ph. D. thesis, Univ. of Wisconsin.
14. Pal, U. R. and M. C. Saxena. 1976. Relationship between nitrogen analysis of soybean tissues and soybean yields. Agron. J. 68 : 927-932.
15. Sinclair, T. R. and C. T. deWit. 1975. Comparative analysis of photosynthate and nitrogen requirements in the production of seeds by various crops. Science 189 : 565-567.

16. Sinclair, T. R. and C. T. deWit. 1976. Analysis of the carbon and nitrogen limitation to soybean yield. Agron J. 68 : 319-324.

17. Smith, D. 1969. Removing and analyzing total nonstructural carbohydrates from plant tissue. Wis. Agri. Exp. Sta. Res. Rep. 41. 11pp.

18. Streeter, J. G. and D. L. Jeffers. 1979. Distribution of total nonstructural carbohydrates in soybean plants having increased reproductive load. Crop Sci. 19 : 729-734.

19. Wardlaw, I. F. 1968. The control and pattern of movement of carbohydrates in plants. Bot. Rev. 34 : 79-105.

Accumulation and Distribution of Nutrients in Soybeans

III. Accumulation of TNC, N, P, K and Mg during Plant Development[1]

C. S. Wang and D. J. Liu[2]

Summary

Soybean varieties Kaohsiung No. 3 (KS 3) and Shih-Shih (SS) were grown in the summer (1981) and spring (1982) crop seasons to study the amounts of TNC, N, P, K and Mg accumulated by different plant organs during successive developmental stages. Between V3 and R5 stages, leaf blade was the organ of predominant nutrient accumulation and the amounts accumulated by the whole plant and various vegetative organs were greater for the spring than for the summer crop. Pod wall and seed were the major organs of nutrient deposition during seed-filling. The amounts of TNC and mineral nutrients accumulated in the reproductive organs as well as in the whole plant were higher for the summer crop during the same period. The maximum amounts of nutrients accumulated by soybean crop were 120—270 kg N/ha, 27—44 kg P/ha, 70—130 kg K/ha and 15—30 kg Mg/ha. The accumulation rates (kg/ha/day) by the whole plant during rapid seed-filling were N: 3-8, P: 0.3-1.2, K: 1.4-3.8 and Mg: 0.3-0.8; whereas the rates by the seed were N: 4.4-12.9, P: 0.7-1.7, K: 1.8-2.6 and Mg: 0.3-0.5. These results indicated significant retranslocation of N and P from vegetative organs to the developing seeds. TNC/N ratio in the pod wall increased markedly during seed-filling and was significantly higher for the summer than for the spring crop. On the contrary, TNC/N ratio in the seed showed a decreasing tendency during the same period. It was also slightly higher for the summer crop. Poor ability of TNC production was suggested as one of the factors for the low grain yield of soybeans grown in the spring crop season.

1. Contribution No. 1321 from Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Respectively, assistant agronomist and senior agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 41301, ROC.